



# MITTALAITTEEN OHJAUS JA MITTAUSTIEDON KERÄYSJÄRJESTELMÄN TOTEUTUS

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Niklas Nokua	
Työn nimi Mittalaitteen ohjaus ja mittaustiedon keräysjärjestelmän toteutus	
Päiväys 3.4.2015	Sivumäärä/Liitteet 27/2
Ohjaaja(t) lehtori Jari Ijäs, yliopettaja Ari Suopelto	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala, Kuopio	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa Hioki 3193 -mittalaitteen PC-pohjainen ohjausjärjestelmä jatkokehityksen pohjaksi. Ohjausjärjestelmän tarkoituksena on nopeuttaa ja helpottaa mittaustietojen keräystä ja analysointia. Ohjausjärjestelmä sisältää pc:n ja mittalaitteen lisäksi laitteistojen välisen väylän sekä ohjelmoitavan ohjelmiston, joista esitellään työn alussa teoriaa ja vaihtoehtoisia ratkaisuja.</p> <p>Mittalaitteella tehdään pääasiassa sähkön laatuun liittyviä mittauksia. Tämän takia mittaus- ja sovelluskohteeksi valittiin ajankohtainen aihe, joka liittyy uusien lampputyypin verkostovaikutuksiin. Varsinainen mittaussovellus toteutettiin LabVIEW-ohjelmistolla, joka on yleisesti käytössä mittalaitteohjauksissa- ja testauksissa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin aikaiseksi sovellus, jonka avulla voidaan ohjata Hioki 3193 -mittalaitetta ja kerätä tärkeimpiä sähkötekniisiä arvoja, jotka vaikuttavat keskeisesti sähkön laatuun.</p>	
Avainsanat mittalaitteen ohjaus, labview	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Niklas Nokua			
Title of Thesis Instrument Control and Implementation of Measurement Data Collection System			
Date	3 April 2015	Pages/Appendices	27/2
Supervisor(s) Mr. Jari Ijäs, Lecturer and Mr. Ari Suopelto, Principal Lecturer			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences, Kuopio			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to implement a PC based instrument control system as a basis for further development. The purpose of instrument control is to accelerate and facilitate the measurement data collection and analysis. An instrument control system includes a computer and a measuring instrument in addition to a bus between the hardware and programmable software which are presented at the beginning of this thesis.</p> <p>The measuring instruments are mainly related to power quality measurements. For this reason a topical issue related to the network effects of new lamp technologies was chosen. The actual measurement application was carried out with LabVIEW software, which is commonly used in instrument control systems.</p> <p>The result of this thesis was an application that can be used to control the Hioki 3193 instrument and collect the most important electrical values which are essentially related to power quality.</p>			
Keywords Instrument control, labview			

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	MITTALAITTEEN OHJAUS.....	7
2.1	Mittalaitteet .....	7
2.2	Väyläratkaisut .....	7
2.2.1	GPIB .....	8
2.2.2	USB.....	9
2.2.3	Ethernet .....	10
2.2.4	PCI.....	10
2.2.5	PCI Express .....	11
2.3	Ohjelmistot.....	12
2.4	Työhön valittu mittausjärjestelmäkokonaisuus .....	12
2.5	LabVIEW .....	12
3	MITTALAITTEEN SOVELLUSKOHDE .....	14
3.1	Sähkön laatu .....	14
3.2	Uusien lampputyyppeiden vaikutus sähkönlaatuun.....	14
3.2.1	Yliaallot .....	14
3.2.2	Loisteho .....	15
3.3	Hiokin soveltuvuus valittuun mittauskohteeseen .....	15
4	MITTALAITTEEN ASETTELUT.....	16
4.1	Takapaneeli.....	17
4.2	Perustoiminnot ja alkuasetukset.....	17
4.2.1	Johdotuksen valinta .....	18
4.2.2	DC/AC .....	18
4.2.3	Jännitteen ja virran mittausalueet .....	18
4.2.4	RMS/MEAN .....	18
4.2.5	Alipäästösuodatin (LPF) .....	18
4.2.6	Vaiheen napaisuuden vaihtelun suodatus.....	18
4.2.7	Aaltomuodon huippuarvo.....	19
4.2.8	Vasteaika.....	19
4.3	Mittaustulokset .....	19
5	VÄYLÄN ASETTELUT .....	21

5.1	Väylän valinta .....	21
5.2	Väyläsovittimen käyttöönotto.....	21
6	MITTAUSSOVELLUKSEN TOTEUTUS LABVIEW'LLÄ.....	23
7	KÄYTTÖÖNOTTO.....	26
8	YHTEENVETO.....	27
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	28
	LIITE 1. LABVIEW-SOVELLUKSEN ETUPANEELI YLIAALTOMITTAUKSILLE.....	29
	LIITE 2. LABVIEW-SOVELLUKSEN LOHKOKAAVIO YLIAALTOMITTAUKSILLE .....	30

## 1 JOHDANTO

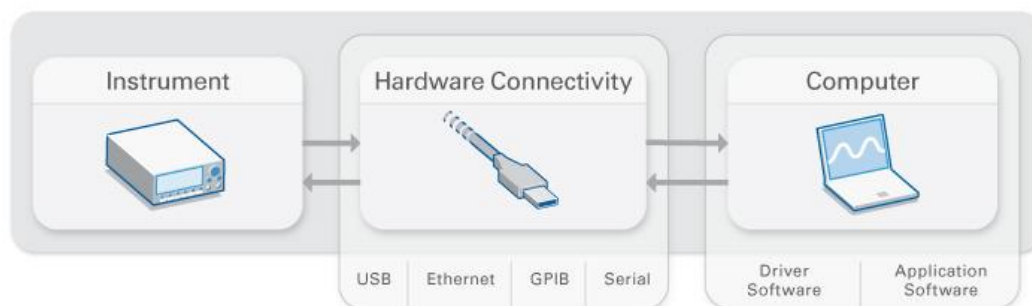
Työn tavoitteena on toteuttaa LabVIEW-ohjelmalla Hioki 3193 -analysaattorin ohjaus- ja mittaustiedon keräysjärjestelmän konsepti jatkokehityksen pohjaksi. Mittalaite on Savonia-ammattikorkeakoululle uusi, joten tarkoituksena on selvittää mahdollisimman tarkasti sen käyttöönottoa ja ominaisuuksia. Tarkoituksena on saada aikaiseksi hyvin dokumentoitu sovellus, josta editoimalla on helppoa muokata uusia sovelluksia eri tarkoituksiin.

Työn alussa esitellään yleistä teoriaa mittalaitteiden ohjauksesta ja esitellään yleisimpiä väyläratkaisuja. Mittausjärjestelmän tavoitteena on tutkia sähkön laatuun liittyviä mittauksia. Tämän takia mittalaitteen ominaisuuksien tutkimisen ja ennakkokäsityksen luomiseksi on suunniteltu etukäteen mitaustavoitteet, jotka liittyivät energia- ja LED-lamppujen verkostovaikutuksiin.

Työn viimeisessä vaiheessa on esitelty mittalaitteen yleiset toiminnot ja mittaukset sekä Hiokin liittäminen LabVIEW-ohjelmointiympäristöön.

## 2 MITTALAITTEEN OHJAUS

Mittalaitteen ohjausjärjestelmä on PC-pohjainen lähestymistapa, mikä yhdistää ohjelmoitavan ohjelmiston ja laitteiston automatisoiden mittaustulosten hankkimisen. Mittaus- ja testaussovellustarpeista riippumatta ohjausjärjestelmät mahdollistavat mittalaitteen liittämisen ja ohjaamisen useiden eri väylien ja ohjelmointikielien avulla. Kuvan 1 mukaisesti mittalaitteen ohjaus koostuu mittalaitteesta, laitteistojen välisestä väylästä sekä tietokoneesta, jossa on ohjelmoitava ohjelmisto. (National Instruments 2004a.)



KUVA 1. Mittalaitteen ohjausjärjestelmän osat (National Instruments 2014.)

### 2.1 Mittalaitteet

Mittalaitteet jaetaan kahteen eri ryhmään: modulaarisiin ja integroituihin. Perinteisissä integroiduissa mittalaitteissa mittauslaitteisto ja -ohjelmisto ovat erillisiä. Modulaarisissa mittausratkaisuihin pystytään yhdistämään mittausohjelmistoja ja mittalaitteita. Modulaariset mittalaitteet koostuvat moduuleista, joilla voi muokata mittalaitetta mittaustehtävään sopivaksi. Valikoimaan kuuluu monia erilaisia kytkin-, mittaus- ja virtalähdemoduuleja.

### 2.2 Väyläratkaisut

Mittalaitteet itsessään tarjoavat usein yhden tai useamman väylävaihtoehdon, jota kautta niitä voidaan ohjata. Myös tietokoneissa on yleensä useita eri väylävaihtoehtoja. Mikäli tietokoneessa ei ole samaa väylävaihtoehtoa kuin mittalaitteessa, se voidaan yleensä lisätä erillisellä konvertterilla. Väylävaihtoehtoja on tarjolla monenlaisia ja ne voidaan jakaa ulkoisiin ja sisäisiin väyliin. Ulkoiset väylät ovat erillisiä kaapeleita, joiden välityksellä laitteistoja yhdistetään. Esimerkkejä ulkoisista väylistä ovat Ethernet, serial, gpib ja usb. Sisäiset väylät siirtävät tietoa laitteen sisällä, esimerkiksi tietokoneen sisäinen laiteväylä (yleensä PCI) siirtää tietoa emolevyllä suorittimen, keskusmuistin ja emolevyllä olevien laitteiden välillä. (Pcmag 2014.)

### 2.2.1 GPIB

GPIB (General Purpose Interface Bus) tai toiselta nimeltä IEEE 488 on Hewlett-Packardin 1960-luvun lopulla kehittänyt, nykyään yksi suosituimmista ja monipuolisimmista väylistä. GPIB on yleisesti käytetty elektroniikkatestilaitteistojen etäkäytön mahdollistamiseen, vaikka sitä on käytetty myös monissa muissa sovelluksissa, esimerkiksi yleisessä tietokonetietoliikenteessä.

Nykyään useimmissa mittalaitteissa GPIB on vakiona tai optiona. Tietokoneissa GPIB kuitenkin ei ole yleensä vakiona, joten sitä varten täytyy käyttää esimerkiksi GPIB-USB -konvertteria. Vaikka nykyään on olemassa kehittyneempiä teknologioita, siitä on silti tullut yleisesti käytetty standardi mittalaitteissa.

GPIB-väylä on hyvin joustava järjestelmä, joka sallii datan liikkua kaikkien väylään liitettyjen laitteiden välillä nopeudella, joka on sopiva hitaimpaan aktiiviseen laitteeseen. Tiedonsiirtonopeus on maksimissaan 8 Mt/s. Yhteen väylään voidaan yhdistää jopa 15 laitetta sillä edellytyksellä, että kaapelin kokonaispituus ei ylitä 20:tä metriä ja kahden laitteen välinen etäisyys on korkeintaan 2 metriä.

GPIB on 8-bittinen väylä, joka koostuu kahdeksasta tiedonsiirtolinjasta, viidestä hallintalinjasta, kolmesta tiedonsiirron ohjauslinjasta ja kahdeksasta maalinjasta. Jokaisella laitteella väylässä on oma 5-bittinen ensisijainen osoitteensa. Mittalaitteilla on osoitteet 0:sta 30:een, ja laitteilla ei voi olla samaa osoitetta. Mittalaitteilla osoitteet voidaan muuttaa tyypillisesti etupaneelista tai käyttämällä takapaneelilla olevia kytkimiä. Datan ja laitekäskeyjen siirtotoiminnot erotetaan loogisesti: kontrolloija osoittaa yhden laitteen lähettäjäksi ja yhden tai useamman vastaanottajaksi. Datamerkkijono liikkuu väylää pitkin lähettäjältä vastaanottajalle. Kuvassa 2 on National Instrumentsin valmistama GPIB-liitin. (National Instruments 2014b.)



KUVA 2. GPIB-liitin (National Instruments 2014.)



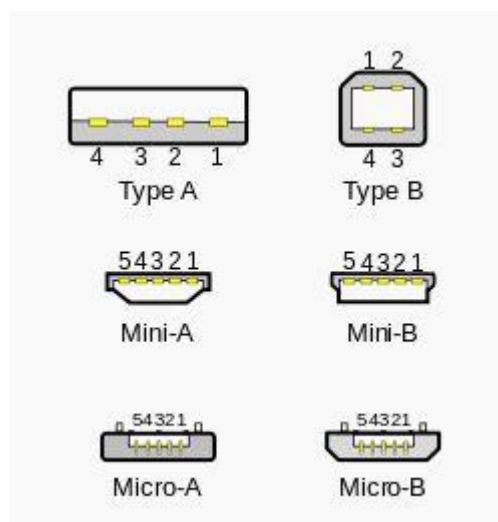
## 2.2.2 USB

USB (Universal Serial Bus) on Intelin, Compaqin, Microsoftin ja muiden johtavien laite- ja ohjelmistovalmistajien vuonna 1995 kehittänyt sarjaväylä. Se suunniteltiin standardoimaan tietoneen ja oheislaitteiden (mm. näppäimistöt, tulostimet, digikamerat) välisen yhteyden kuljettamalla virtaa ja dataa. Nykyään USB on monille tuttu arkipäiväisessä käytössä, ja se on korvannut kannettavien laitteiden erillisiä laitureita. USB:sta on jopa tullut niin yleinen, että sitä käytetään lähes kaikissa tietokoneen tapaisissa laitteissa, kuten videopelikonsoleissa, kotiteattereissa ja jopa monissa autoissa.

USB-standardeja on kolme: USB 1.1, USB 2.0 ja USB 3.0. USB 1.1 oli ensimmäinen kaupallinen versio ja tuki 12 Mbit/s teoreettista enimmäissiirtonopeutta. USB 2.0 on nykyisin eniten käytössä oleva versio ja siinä enimmäissiirtonopeus on 480 Mbit/s. USB 3.0 esiteltiin vuonna 2008 ja se tarjoaa uuden siirtotilan nimeltään "SuperSpeed", jossa enimmäissiirtonopeus on jopa 5 Gbit/s.

USB-kaapeli sisältää datajohtoparin, virtajohdon (+5 V) ja maajohdon. Kaapelissa datasiinaalit muodostavat vastakkaissuuntaisia pareja. Vastaanottopäässä käänteisvaiheinen signaali käännetään oikeinpäin ja signaalit summataan, jolloin häiriöt kumoutuvat. Standardin mukainen virransyöttö on USB 2.0:ssa maksimissaan 500 mA ja USB 3.0:ssa 900 mA. USB:lle on olemassa useita erilaisia liitintyyppäjä, jotka ovat kehittyneet tekniikan kehittyessä ja tarpeiden mukaan. Ensimmäinen muutos tuli USB 2.0:lle, jolloin mini-B-liitin lisättiin.

Vaikka USB suunniteltiin alun perin PC:n oheislaitteväyläksi, sen nopeus ja helppokäyttöisyys on tehnyt siitä suosittua myös väylän mittalaitteohjaussovelluksissa. (Computer Hope 2014a.)



KUVA 3. Erilaisia USB-liitintyyppäjä (Wikipedia 2014.)

### 2.2.3 Ethernet

Ethernet on lähiverkkoratkaisu, jota käytetään laajasti verkkotyöstentelyssä ja tiedon varastoinnissa, mutta myös mittalaitesysteemeissä. IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, kansainvälinen tekniikan alan järjestö) on standardoinut Ethernet-tekniikan. Nimitys Ethernet viittaa joukkoon lähiverkkojen toteutustapoja, jotka käyttävät CSMA/CD-kaistanvarausmenetelmää (Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection), jolla useat lähettävät PC:t jakavat samaa siirtotietä.

Ethernet voidaan jakaa eri versioihin siirtonopeuksien mukaan: 10 Mt/s (10BASE-T), 100 Mt/s (100BASE-TX), 1 Gt/s (1000BASE-T) ja 10 Gt/s Ethernet, joka tukee aluksi valokuituyhteyksiä, mutta voidaan nykyään käyttää myös kuparikaapeleilla. Siirtonopeuden kasvu perustui paitsi parempiin verkkolaitteisiin ja laadukkaampiin kaapeleihin (cat5), myös verkon rakenteen muuttumiseen: Ethernetissä alun perin käytetty väylärakenne muuttui tähtimäiseksi. Maksimisiirtonopeudet ovat kuitenkin teoreettisia ja toteutuvat harvoin muun verkkoliikenteen ja tehottoman tiedonsiirron takia.

Ethernet sisältää ominaisuuksia, kuten etäohjauksen ja helpon mittaustuloksien julkaisun, joita voidaan käyttää mittalaitesovelluksissa. (Computer Hope 2014b.)

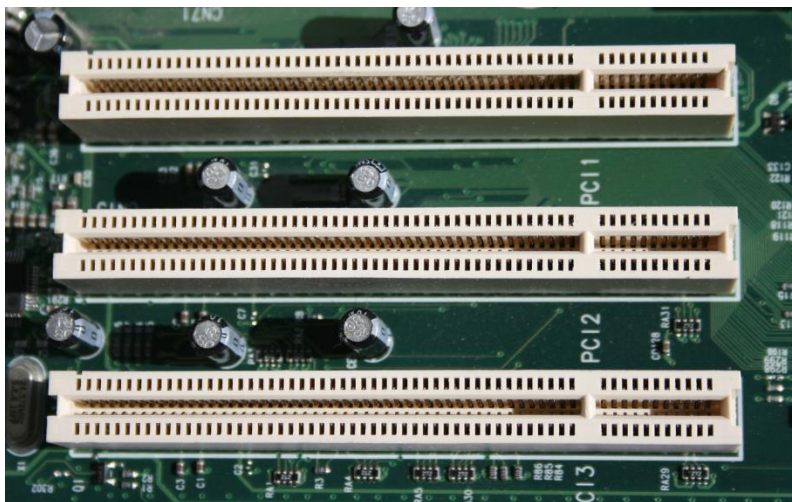


KUVA 4. RJ-45-liitintä käytetään yleisesti Ethernet-kaapeleissa (Wikipedia 2014.)

### 2.2.4 PCI

Intel esitteli PCI-väylän (Peripheral Component Interconnect) vuonna 1992 ja julkaisi ensimmäisen version vuonna 1993. Yksi sen tavoitteista oli yhdistää useita silloin vallalla olleita I/O-väyliä, kuten ISA, EISA ja VESA. PCI on tietokoneen sisäinen laiteväylä, ja sitä käytetään pääasiassa siirtämään tietoa emolevyllä oleville laitteille ja oheislaitteiden liittämiseen. PCI-väylän avulla väylänhaltija-tyyppiset oheislaitteet voivat kommunikoida suoraan muiden oheislaitteiden kautta käyttämättä prosessoria. Ensimmäinen PCI-versio oli 32-bittinen väylä, jossa enimmäissiirtonopeus on 133 MB/s, mutta nykyään on tarjolla myös 64-bittinen versio 266 MB/s siirtonopeudella.

PCI-väylää ei yleensä käytetä suoraan mittalaitteiden ohjauksessa vaan oheisväylänä yhdistämään GPIB-väyläisiä laitteita tietokoneeseen. (Computer Hope 2014c.)



KUVA 5. PCI-liittimiä (Wikipedia 2014.)

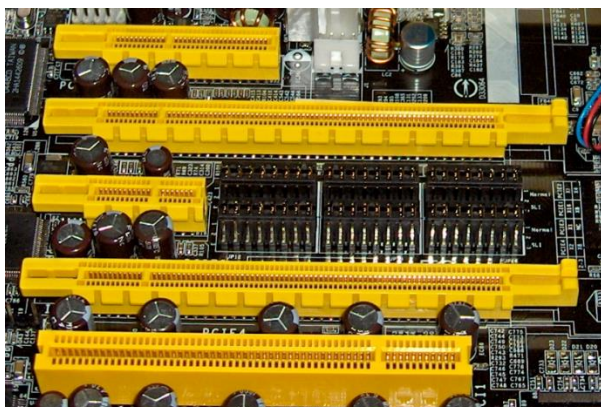
### 2.2.5 PCI Express

Tiedonsiirtonopeuksien kasvaessa PCI-väylässä tulevat rajat vastaan monissa tilanteissa, minkä seurauksena PCI:n seuraajaksi kehiteltiin vuonna 2004 PCI Express (PCIe), jossa on suurempi tiedonsiirtokyky ja parempi skaalattavuus. Se käyttää laitteiden liittämiseen sarjamuotoisia laitekohtaisia linkkejä kaikille laitteille jaetun rinnakkaisväylän sijasta. Lisäksi siinä on parempi virheiden havaitsemismekanismi. PCIe:ssä jokaisella laitteella on oma tiedonsiirtokanavansa kytkimeen. Tiedonsiirtokanava koostuu linjoista. Yksi linja koostuu kahdesta yksisuuntaisesta johdinparista, joista toinen siirtää tietoa kytkimen suuntaan ja toinen taas kytkimeltä laitteelle. Tämän ansiosta voidaan samanaikaisesti siirtää tietoa molempiin suuntiin.

Nykyisin käytössä on yleisesti PCI Express 3.0 -versio, joka pystyy 8GT/s siirtonopeuksiin. Vähitellen ollaan siirtymässä 4.0 -versioon, joka mahdollistaa 16GT/s siirtonopeudet.

Vaikka perinteinen PCI-väylä on edelleen yleisesti käytössä, PCIe on alkanut vähitellen korvaamaan edeltäjänsä erityisesti suuria tiedonsiirtonopeuksia vaativien laitteiden liittämisessä.

Uusimmista emolevyistä on PCI-liitännät jopa jätetty kokonaan pois. (Computer Hope 2014d.)



KUVA 6. Erityyppisiä PCIe-liittimiä (Wikipedia 2014.)

## 2.3 Ohjelmistot

Sovellusohjelmisto helpottaa vuorovaikutusta tietokoneen ja käyttäjän välillä automatisoiden mittaustietojen analysointia. Mittalaitteiden ohjaukseen suunnitellut ohjelmistot tarjoavat joko valmiita sovelluksia tai ohjelmointiympäristön kustomoitujen sovellusten rakentamiseen. Ohjelmistoa valittaessa tulee huomioida järjestelmän ja sovellusten tarpeet. Tarkoituksena olisi mahdollisuus pystyä valitsemaan väylä niin, että sillä ei ole vaikutusta valittuun ohjelmointikieleen ja päinvastoin. Tämän takia tulisi valita joustava ja skaalautuva ohjelmisto, joka mahdollistaa minkä tahansa mittalaitteen saumattoman ohjauksen

Mittausjärjestelmiä rakennettaessa ei tule myöskään unohtaa ajuriohjelmistoja. Ajurit toteuttavat laitteen ja ohjelmiston välisen rajapinnan, jonka kautta pystyy antamaan toimintapyyntöjä. Huono ajuriohjelmisto vaikuttaa koko järjestelmän suorituskykyyn. Mittalaitteita pystyy yleensä ohjaamaan myös suoraan I/O-komentojen kautta, mutta ajurit yksinkertaistavat viestinvälitystä. (National Instruments 2014.)

## 2.4 Työhön valittu mittausjärjestelmäkokonaisuus

Työn perustana oli Hiokin mittalaite, jonka pohjalle kokonaisuutta alettiin rakentamaan. Työn tarkoituksena oli luoda sovellus, jota muokkaamalla on helppo soveltaa myös muissa mittausjärjestelmissä. Tämän vuoksi käytettäväksi valittiin GPIB-väylä, joka on yleisesti käytettävissä lähes jokaisessa järjestelmässä. Työssä oli mittalaitteen lisäksi käytössä kannettava tietokone, johon oli asennettuna varsinainen sovellusohjelmisto. Tietokoneessa ei ole vakiona GPIB-liitäntää, joten avuksi hankittiin Agilentin USB/GPIB-väyläsovitin. Mittausohjelmistona käytettiin National Instrumentsin LabVIEW-ohjelmointiympäristöä, joka on GPIB-väylän tavoin lähes standardi mittausjärjestelmäkäytössä.

## 2.5 LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) on National Instrumentsin vuonna 1986 tekemä ohjelmointiympäristö. Se tehtiin alun perin Macintoshille, mutta on nykyään saatavissa myös muille käyttöjärjestelmille. LabVIEW-sovellukset ovat suoraan siirrettävissä eri käyttöjärjestelmien välillä. LabVIEW perustuu graafiseen G-kieleen, jota ei tule sekoittaa G-kodiin. Kieli on helppo oppia, mutta se on silti riittävän tehokas monipuolisiin sovelluksiin.

LabVIEW on nykyisin yleisesti käytössä mittalaiteohjauksissa ja -testauksissa, analysointisovelluksissa sekä teollisuuden automaatio-sovelluksissa. Se soveltuu myös yleisohjelmointikieleksi ja kilpailee esimerkiksi C/C++-ohjelmoinnin kanssa.

Graafinen ohjelmointiympäristö esimerkkeineen ja dokumentteineen tekee yksinkertaisten sovellusten tekemisestä helppoa, mutta monimutkaisten sovellusten tekeminen vaatii laajaa G-kielen opiskelua.

LabVIEW'n etu on sen sisältämät virtuaaliset laitteet (virtual instruments), joiden ansiosta mittausjärjestelmien rakentaminen on helppoa ja nopeaa. Toinen keskeinen hyöty on laaja tuki eri mittalaitteille. Ajurit ovat usein valmiina tai helposti lisättävissä useille väylille ja laitteistoille. LabVIEW sisältää myös kääntäjän, joka muuttaa graafista koodia konekieleksi tulkitsemalla ja vertailemalla syntaksia.

LabVIEW'n sisäiset kirjastot sisältävät valtavasti toimintoja esimerkiksi tiedon keräämiseen, matemaatiikkaan, tilastotietoon, analysointiin. Lisäksi LabVIEW sisältää MathScriptin, joka on tekstipohjainen ohjelmointikomponentti. (National Instruments 2014c.)

### 3 MITTALAITTEEN SOVELLUSKOHDDE

Mittausjärjestelmän pääasiallisena tavoitteena on helpottaa sähkön laatuun liittyviä mittauksia. Laboratoriotyöksi valittiin energiansäästö- ja LED-lamppujen vertailu sekä niiden ominaisuuksien vaikutus sähkön laatuun. Tarkoituksena oli saada ennakkokäsitys mittauksen tavoitteista ennen varsinaista mittausta, jotta mittalaitteen ominaisuudet ja puutteet tulisivat mahdollisimman hyvin esille.

#### 3.1 Sähkön laatu

Sähkön laadussa tarkastelunäkökulmasta riippumatta on lähes aina kysymys sähköverkon poikkeamasta sähköjännitteen tai -virran aaltomuodossa tai katkoksesta sähkönjakelussa. Poikkeavuuksia ovat esimerkiksi jännitekuopat, transientit, harmoniset ylijännitteet, epäsymmetria, lyhytaikaiset keskeytykset ja jännitteen vaihtelu. Sähkön laadun häiriöt syntyvät joko tarkasteltavan sähköverkon ulkopuolisessa verkossa (sähkönjakeluverkko) tai tarkasteltavan laitoksen tai kiinteistön sisäpuolisessa sähköverkossa. Sisäpuolisen verkon aiheuttamat häiriöt ilmenevät esimerkiksi säröytyneenä aaltomuotona eli yliaaltoina. Sähkön laadulle on olemassa standardit, jotka määrittelevät, kuinka paljon esim. jännitetaso saa vaihdella ja kuinka paljon siinä saa olla häiriöitä. Mikäli yliaaltoja ja häiriöitä on liikaa, ne voivat aiheuttaa toimintahäiriöitä herkissä elektronisissa laitteissa. Ne lisäävät myös sähkölaitteiden siirtolinjahäviöitä ja lämpenemää. Siksi asiaan on kiinnitetty huomiota ja annettu määräyksiä laitteiden verkkoon tuottamien häiriöiden määrästä. (ABB 2014.)

#### 3.2 Uusien lampputyypin vaikutus sähkönlaatuun

Uusien lampputeknologioiden, kuten energiansäästö- ja LED-lamppujen, aiheuttamista verkkohäiriöistä on puhuttu jo niiden markkinoille tulosta lähtien. Yksittäisien lamppujen aiheuttamat häiriöt ovat merkityksettömiä, mutta niiden käytön lisääntyessä asiaan tulee kiinnittää huomiota. (Lampputieto 2014.)

EMC-direktiivi (electromagnetic compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus) ja siihen liittyvät standardit määrittelevät rajat laitteiden tuottamille häiriöille. Teknisesti häiriöt on mahdollista poistaa lisäämällä joko laitteisiin tai sähköverkkoon suodatin. Toistaiseksi ei ole tullut tietoon, että energiansäästölamppujen yleistymisen olisi aiheuttanut ongelmia verkkoyhtiöille Euroopassa. (Lampputieto 2014.)

##### 3.2.1 Yliaallot

Energiansäästölamput ja LED-lamput sisältävät elektronisen liitäntälaitteen, jolla ne liittyvät sähköverkkoon. Liitäntälaitte voi olla resistiivisellä virranrajoituksella varustettu kokoaaltotasasuuntaaja, joka muuttaa verkon vaihtojännitteen lampulle sopivaksi tasajännitteeksi. Kehittyneimmissä lamppuissa tasasuuntaaja voi sisältää myös tehokertoimen korjaajan. Joissakin LED-lampuissa on tasasuuntaajan ja kondensaattorin lisäksi DC/DC-muunnin, joka säätelee jännitteen sopivaksi LEDeille ja toteuttaa aktiivisen virran rajoituksen.

Energiansäästölamppuissa tasasuuntaajan ja kondensaattorin jälkeen tarvitaan myös invertteri ja muuntaja, jotka muuntavat välipiirin tasajännitteen lampun loisteputkelle sopivaksi suuritaajuiseksi ja -jännitteiseksi vaihtosähköksi.

Mikäli kokoaaltosuuntaaja ei sisällä tehokertoimen korjausta, aiheutuu verkkoon parittomia yliaaltovirtoja. Mitä kulmikkaampaa ja epätasaisempaa lampun ottama virta on, sitä enemmän syntyy yliaaltoja. Myös himmennin synnyttää yliaaltoja. Kolmivaihejärjestelmässä kolmella jaolliset parittomat yliaaltovirrat summautuvat nollajohtimeen samanveiheinä ja saattavat aiheuttaa nollajohtimen ylikuormituksen. (Tampereen teknillinen yliopisto, 2013)

### 3.2.2 Loisteho

Laitteet, joiden toiminta perustuu sähkövastukseen, esimerkiksi hehkulamppu, kuluttavat ainoastaan pätötehoa. Laite kuluttaa myös loistehoa jos siinä on sähköpurkaus, kuten esimerkiksi energiansäästölamppu.

Loisteho ei ole työtä tekevää tehoa, vaan se värähtelee edestakaisin kuorman ja siirtoverkon välillä. Se ei siis synnytä valoa, eikä sen tuottaminen kuluta polttoainetta. Sitä voidaan tuottaa sähköverkossa kondensaattoreilla. Loistehon siirtäminen kuormittaa sen aiheuttaman virran takia siirtojohtoja.

Kun hehkulamppu korvataan kompensoimattomalla pienoisloistelampulla, verkon virta eli kuormitus säilyy suuruusluokaltaan entisenä. Energiansäästölamppu kuluttaa vähemmän energiaa kuin hehkulamppu, mutta edellyttää loistehon tuottamista eli kompensointia. (lampputieto: 2014)

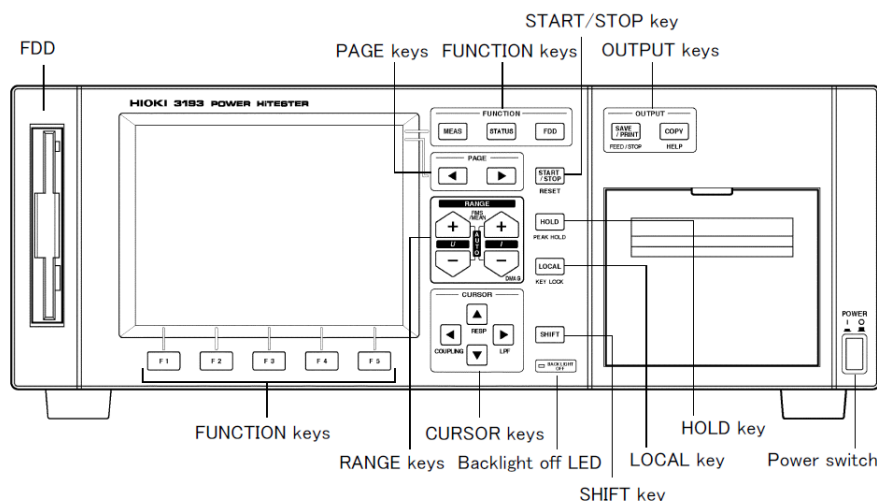
### 3.3 Hiokin soveltuvuus valittuun mittauskohteeseen

Hioki Hitester 3193 on monitoiminen 6-kanavainen analysaattori. Sillä voidaan mitata sekä 1-vaiheisia että 3-vaiheisia piirejä. Laitteessa on standardina GPIB ja RS-232 väylät, tehden datan siirtämisen helpoksi tietokoneelle käsittelyä ja analysointia varten. Laitteeseen täytyy erikseen ostaa input-moduuli. Lisäksi saatavilla on lisämoduuleita, kuten tulostin mittaustuloksia varten, sekä yliaalto/välkyntämoduuli. Perustuen jännitteen, virran ja tehon mittauksiin, laite laskee pätötehon, loistehon näennäistehon, vaihekulman ja hyötysuhteen. Perustarkkuus mittauksille on  $\pm 0,2$  %. Laitteessa on myös laaja valikoima mittaustoimintoja taajuuksille, huipuille ja yliaalloille ja välkyntälle.

Mittalaitteella on tarkoituksena selvittää energiansäästö- ja LED-lamppujen tärkeimpiä sähköteknisiä arvoja, jotka vaikuttavat keskeisesti sähkön laatuun. Niitä ovat lamppujen tehokertoimet, harmonisten yliaaltojen osuus, tehot ja virrat, jotka kaikki liittyvät läheisesti toisiinsa. Tämän perusteella Hiokin mittalaite soveltuu valittuun mittauskohteeseen.

#### 4 MITTALAITTEEN ASETTELUT

Hiokin etupaneelissa sijaitsevat kaikki tarvittavat näppäimet mittauksia ja asetuksia varten. Monet näppäinten toiminnoista ovat vaihto-näppäimen (SHIFT) takana vähentäen painikkeiden määrää ja tehden etupaneelista selkeämmän. Näppäinten toiminnot on selitettyinä taulukossa 1.



KUVA 7. Hiokin etupaneeli (HIOKI 3193 Instruction Manual.)

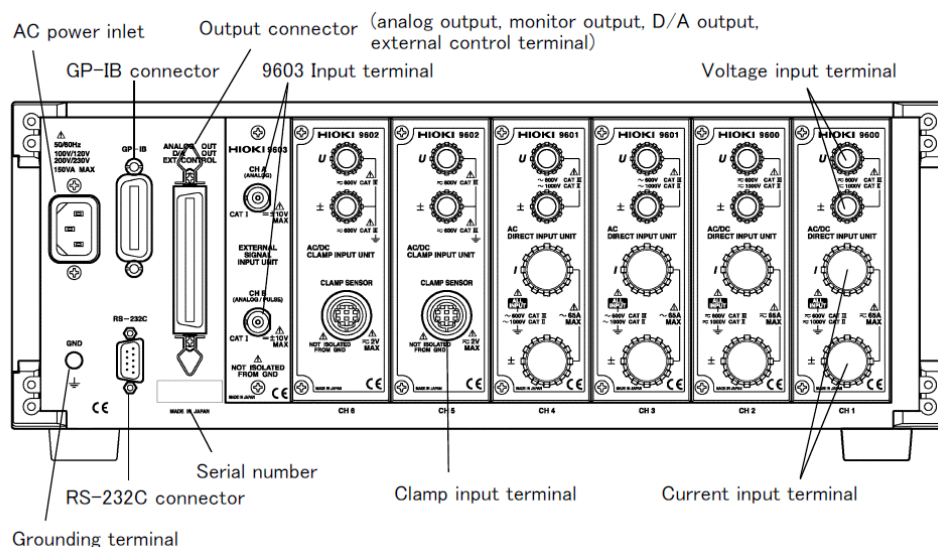
TAULUKKO 1. Hioki 3193 etupaneelin näppäinten toiminnot

FUNCTION	MEAS	Vaihtaa mittausarvonäyttöön
	STATUS	Vaihtaa asetusnäyttöön
	FDD	Käytetään levykkeen nimen vaihtoon ja asetusten tallennukseen
PAGE	< >	Käytetään toiseksi ylimmän rivin näkymien vaihtamiseen mittaus- ja asetusnäytöissä
RANGE	U+ / U-	Vaihtaa jännitteen mittausasteikkoa aktiivisella kanavalla. Painamalla kumpaakin yhtäikaa voidaan asteikko vaihtaa automaattiseksi
	I+ / I-	Vaihtaa virran mittausasteikkoa aktiivisella kanavalla. Painamalla kumpaakin yhtäikaa voidaan asteikko vaihtaa automaattiseksi
OUTPUT	COPY	Lähetää kopion näytöstä levykkeelle tai tulostimelle
	SHIFT COPY	Lähetää käytössä olevat asetukset levykkeelle tai tulostimelle
	SAVE/PRINT	Lähetää määritellyt kohteet levykkeelle tai tulostimelle
	SHIFT SAVE/PRINT	Syöttää tulostimen paperia. Tulostuksen aikana lopettaa tulostuksen
CURSOR		Nuolilla liikutaan asetuksissa ja näytöissä
HOLD		Pysäyttää mittaustulosten päivittämisen. Seuraava painallus päivittää näytön.
LOCAL	LOCAL	Lopettaa kauko-ohjauksen
	SHIFT LOCAL	Lukitsee paneelin näppäimet
START/STOP	START/STOP	Käynnistää ja pysäyttää kaikki aikaohjaukset
	SHIFT START/STOP	Palauttaa ohimenneen ajan ja integrointiarvot
F1-F5		Valitaan asetuskohdat
POWER		Sammuttaa ja käynnistää laitteen



#### 4.1 Takapaneeli

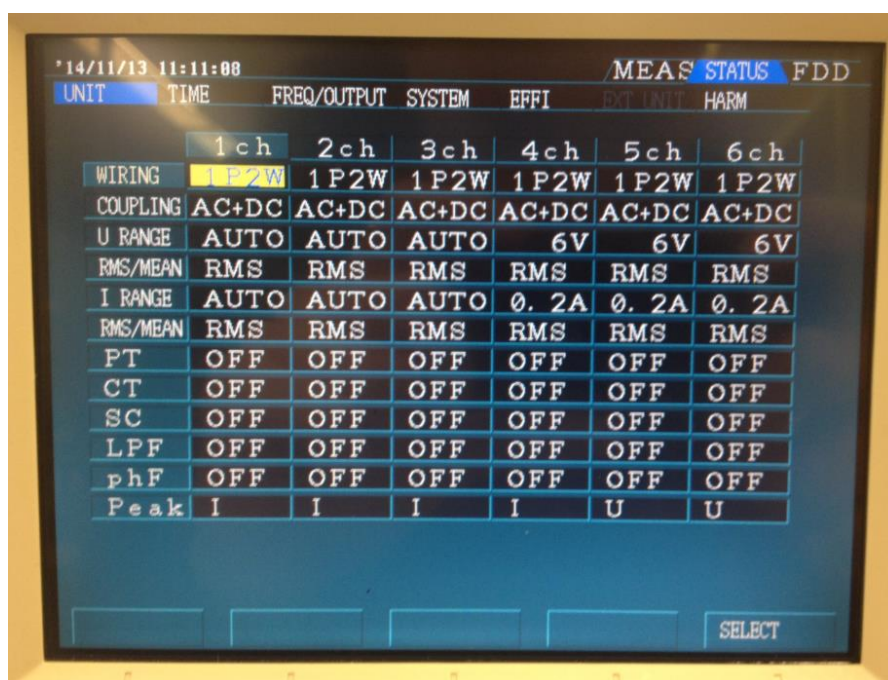
Laitteen takaosassa (KUVA 8) sijaitsevat kaikki kytkentöihin tarvittavat jännite- ja virtaliitännät sekä GPIB ja RS-232C väylien liittimet. Input-yksiköiden numerointi alkaa oikealta vasemmalle eli kanavan 1 liittimet ovat oikealla.



KUVA 8. Hiokin takapaneeli (HIOKI 3193 Instruction Manual.)

#### 4.2 Perustoiminnot ja alkuasetukset

Ennen varsinaisia mittauksia tulee asettaa oikeat asetukset STATUS-valikosta kuvan 10 mukaisesti.



KUVA 10. STATUS-valikko

#### 4.2.1 Johdotuksen valinta

Hioki 3193:ssa on kuusi kanavaa, jotka mahdollistavat kaikki mittaukset kuudesta yksivaiheisista tai kahdesta kolmivaiheisesta järjestelmästä. Kytkenän valinta kanavalle tapahtuu STATUS-näytön kautta valitsemalla WIRING. Työssä mitataan LED- ja energiansäästölamppujen arvoja, joten valitaan kursoria liikuttamalla 1P2W ja hyväksytään valinta painamalla F1 kuvan 9 mukaisesti. Tämän jälkeen valikko palaa automaattisesti edelliseen näkymään.

#### 4.2.2 DC/AC

COUPLING valikossa voidaan valita tasa- ja vaihtosähkötilan välillä mitattavan järjestelmän mukaan. DC-tilassa loisteho, tehokerroin ja vaihekulma näkyvät näytöllä, mutta ovat merkityksettömiä. AC+DC- ja AC-tiloissa virran ja jännitteen arvot ovat aina positiivisia.

#### 4.2.3 Jännitteen ja virran mittausalueet

Mittausalueen tulee olla 5 % ja 110 % välillä sisääntulevasta arvoalueesta, jotta saadaan mahdollisimman tarkat tulokset. Mikäli arvo ylittää 130 % rajan näytössä lukee "o.r". Aluetta voi muuttaa STATUS-valikossa F1- ja F2-näppäimillä. Painamalla F5 mittausalueet muuttuvat automaattisesti niiden ylittyessä tai alittuessa. Vääristynyttä aaltomuotoa mitattaessa arvoalue ei ole välttämättä vakaa, minkä vuoksi alueet kannattaa valita manuaalisesti.

#### 4.2.4 RMS/MEAN

RMS/MEAN rivillä voidaan valita laskentatapa tehollisarvon (RMS) ja tasasuunnatun keskiarvon (MEAN) välillä. Tehollisarvo tarkoittaa vaihtojännitteen tai vaihtovirran RMS-keskiarvoistamalla laskettua neliöllistä keskiarvoa. Vaihtojännite syöttää kuormaan saman tehon kuin on sen tehollisarvon suuruinen tasajännite. Tasasuunnatussa keskiarvossa tehdään puoli- tai kokoaaltosuuntaus ja keskiarvoistetaan saatu signaali. Tämä vaihtoehto ei näytä oikeaa arvoa, mikäli aalto ei ole sinimuotoista. DC-tilassa RMS/MEAN valinta ei ole mahdollinen.

#### 4.2.5 Alipäästösuodatin (LPF)

Laitteessa on itsessään alipäästösuodatin, jonka avulla voidaan vaimentaa korkeataajuiset signaalit. Valitsemalla sopivan suodattimen arvon voidaan poistaa yliaaltoja. Vaihtoehtoina ovat 500 Hz, 5 kHz, 300 kHz tai ei suodatusta ollenkaan.

#### 4.2.6 Vaiheen napaisuuden vaihtelun suodatus

Vaiheen napaisuuden vaihtelun suodatus asetus vakauttaa vääristyneen aaltomuodon mittauksia. Suodattimen rajana 200Hz taajuus, minkä takia vääristyneen aaltomuodon taajuudesta riippuen vaikutus ei ole aina mahdollinen. Mikäli taajuus ylittää 200 Hz, tulee asetus laittaa OFF-tilaan.

#### 4.2.7 Aaltomuodon huippuarvo

Huippuarvon mittausta voidaan asettaa jännitteelle [Up(i)] tai virralle [Ip(i)]. Molempia ei ole mahdollista mitata yhtäaikaan. Jos alipäästösuodatin on käytössä, huippuarvo löytyy aalloon ylittäessä suodatuksen. Sinimuotoisen vaihtojännitteen tehollisarvon ja huippuarvon välillä vallitsee seuraava yhteys:  $U_{huippu} = \sqrt{2} \times U_{rms}$ .

#### 4.2.8 Vasteaika

Vasteajalla voidaan määritellä, kuinka nopeasti esimerkiksi jännitteen vaihtaminen näkyy laitteen näytöllä. Näyttö on vakaampi ja pienten säätöjen tekeminen on helpompaa kun vasteajan säätää hitaalle (SLOW). Vaihto tapahtuu STATUS-valikon TIME-välisivulta.

#### 4.3 Mittaustulokset

Perusmittausikkunassa näkyvät oletuksena jännite, virta, pätöteho ja vaihekulma. Tarkennetussa ikkunassa (DETAILS) näkyvät edellisten lisäksi mittaustulokset näennäisteholle, loisteholle, taajuudelle sekä virta- tai jännitehuipuille asetuksista johtuen. Myös vaihekulma ja tehokerroin ovat valittavissa samaan näkymään. Details- ikkunassa voidaan valita jokaiselle kanavalle erikseen halutut mittaustulokset.



KUVA 11. 1-kanavan mittaustulokset.

Hiokin yliaaltoanalyysitoiminto käyttää toimiakseen nopeaa Fourier'n muunnosta (FFT, Fast Fourier Transform), joka on tehokas algoritmi diskreetin Fourier'n muunnoksen ja sen käänteismuunnoksen laskemiseksi.

Yliaaltoanalyysiin voi valita maksimissaan 3 kanavaa ja jokaisella tulee olla sama taajuus. Tarkkojen tulosten aikaansaamiseksi täytyy taajuus synkronoida mitatun signaalin kanssa. Synkronoidun taajuuden saamiseksi täytyy asetuksista asettaa jännite tai virta PLL- lähteeksi. PLL (phase locked loop) eli vaihelukittu silmukka on takaisinkytkentää käyttävä tekniikka. Signaalin taajuutta säädetään siten, että se täsmää mahdollisen taajuuskäsittelyn jälkeen vertailusignaalia.

Yliaallot ovat nähtävissä HARMONICS-valikosta. Esitystavan voi vaihtaa graafisen-, listaus-, vektori- ja aaltomuotoesityksen välillä. Listausmuodossa (kuva 12) näkyvät 50 ensimmäistä yliaaltoa. THDF (Total Harmonic Distortion) on särökerroin, joka esittää yliaaltojen määrän suhteessa koko signaalin tehollisarvoon. Perusaaltoon verrattaessa tunnus on THDF.



KUVA 12. 50 ensimmäistä yliaaltoa listattuna.



## 5 VÄYLÄN ASETTELUT

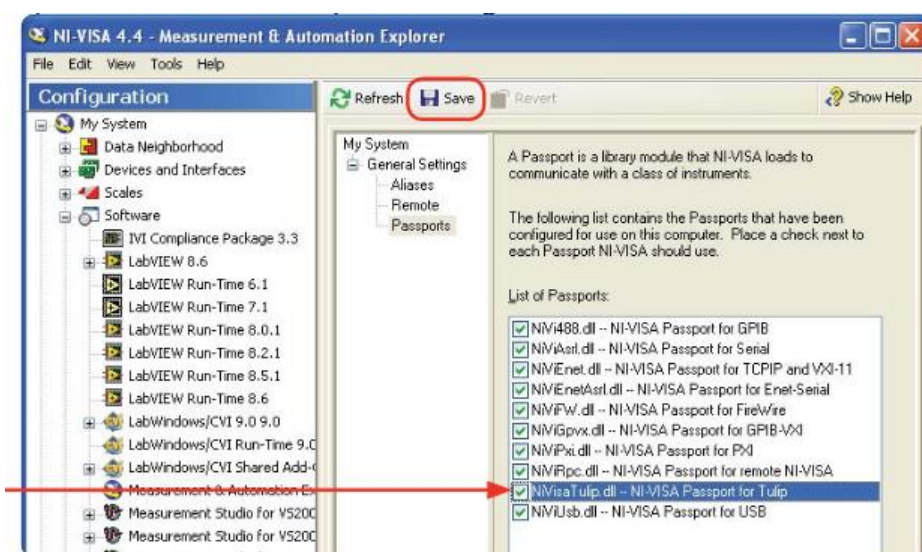
### 5.1 Väylän valinta

Hioki 3193 sisältää GPIB- ja RS-232-väylät standardina. GPIB on yleisesti käytössä lähes jokaisessa mittalaitteessa, joten se valittiin tähän sovellukseen. Työn aikana käytössäni oli koulun kannettava tietokone, johon oli asennettu LabVIEW. Hiokin käyttämän GPIB-väylän takia tarvittiin väyläsovitin, joka mahdollistaa mittalaitteen ja PC:n yhdistämisen. Tähän tarkoitukseen sain käyttööni Agilent 82357B USB/GPIB-sovittimen. Agilent ja National Instruments ovat kilpailevia yrityksiä, joten väyläsovittimen käyttöönotto vaatii muutamia alkutoimenpiteitä.

### 5.2 Väyläsovittimen käyttöönotto

Ensimmäinen vaihe on asentaa PC:lle Agilent IO Libraries Suite, joka sisältää myös Agilent VISAn. Se mahdollistaa laitteen kommunikoinnin LabVIEW-ohjelman kanssa. Asennuksen yhteydessä tulee valita rinnakkaistila, joka sallii Agilent VISAN samanaikaisen käytön NI-VISAN kanssa. VISA (Virtual Instrument Software Architecture) luo ohjelmointirajapinnan mittalaitteen ja ohjelmiston välillä. Väyläsovittimen toimivuuden kannalta LabVIEW-ohjelmassa on tärkeää asentaa Agilent VISA toissijaisena VISANA mukautetussa asennuksessa. Kun ohjelmisto on asennettu, väyläliitin voidaan asettaa PC:n USB-porttiin. Tässä vaiheessa sovitin ei kuitenkaan saa olla vielä kiinni mittalaitteessa. Windows tunnistaa sovittimen automaattisesti USB-portin kautta ja käynnistää ohjatun ajurien asennuksen. Onnistuneen asennuksen jälkeen väyläsovitin voidaan liittää mittalaitteeseen ja kytkeä siihen virta. Hiokin asetuksista tulee olla valittuna GPIB-rajapinta. Agilent Connection Expertillä voidaan tarkistaa, onko kytkentä onnistunut.

Seuraavaksi pitää sallia Agilentin laitteistojen käyttö National Instrumentin ohjelmistoissa NI-VISA Passportin avulla. NI-VISA Passport on ohjelmamoduuli, joka sisältyy NI-VISAAN. VISA-asetuksista tulee rastittaa kohta Passport for Tulip (NIVisaTulip.dll) ja tallentaa asetukset kuvan 13 mukaisesti.



KUVA 13. NI-VISA Passportin asetukset

Lopuksi pitää vielä sallia Agilent Connection Expertin asetuksista väyläsovittimen käyttö GPIB-sovel-  
luksissa kuvan 14 mukaisesti. Ainakin Windows 7:lla tämän asetuksen muuttaminen vaatii kirjautu-  
mista admin-tunnuksilla.

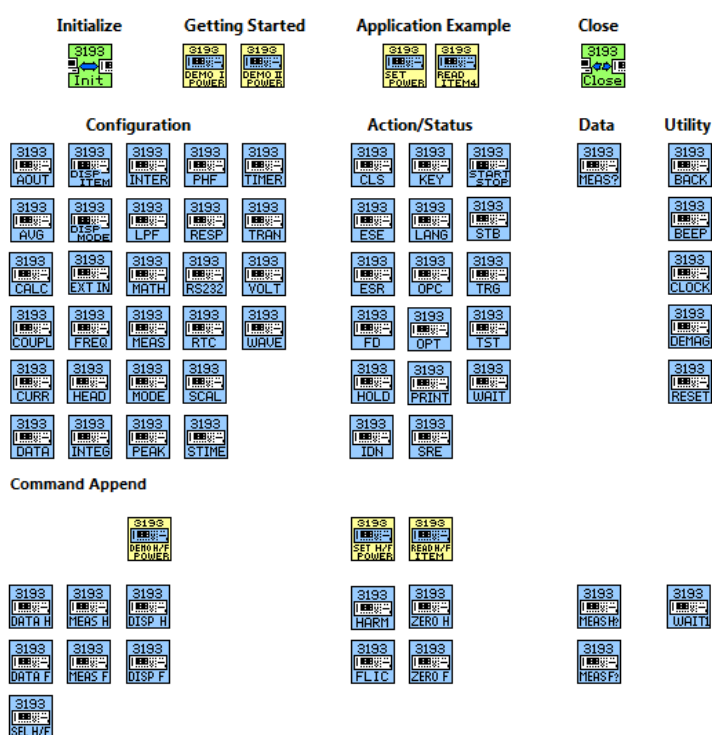


KUVA 14. Agilentin väyläsovittimen salliminen.

Työssä tehty LabVIEW-sovellus koostuu kahdesta pääohjelmasta ja useasta aliohjelmasta, joita pääohjelmat käyttävät. LabVIEW:ssä sovellusta kutsutaan virtuaali-instrumentiksi eli VI:ksi. VI:t laaditaan kahden näkymän välillä: etupaneeli (front panel) ja lohkokaavio (block diagram). Etupaneeli on VI:n käyttöliittymä, joka koostuu eri objekteista, jotka mahdollistavat mittalaitteen kontrolloinnin ja mittaustulosten lukemisen. Lohkokaaviossa on määritelty sovelluksen varsinaiset toiminnallisuudet eri funktioiden ja johdotuksien avulla. Jokainen etupaneeliin lisätty objekti näkyy myös lohkokaaviossa automaattisesti.

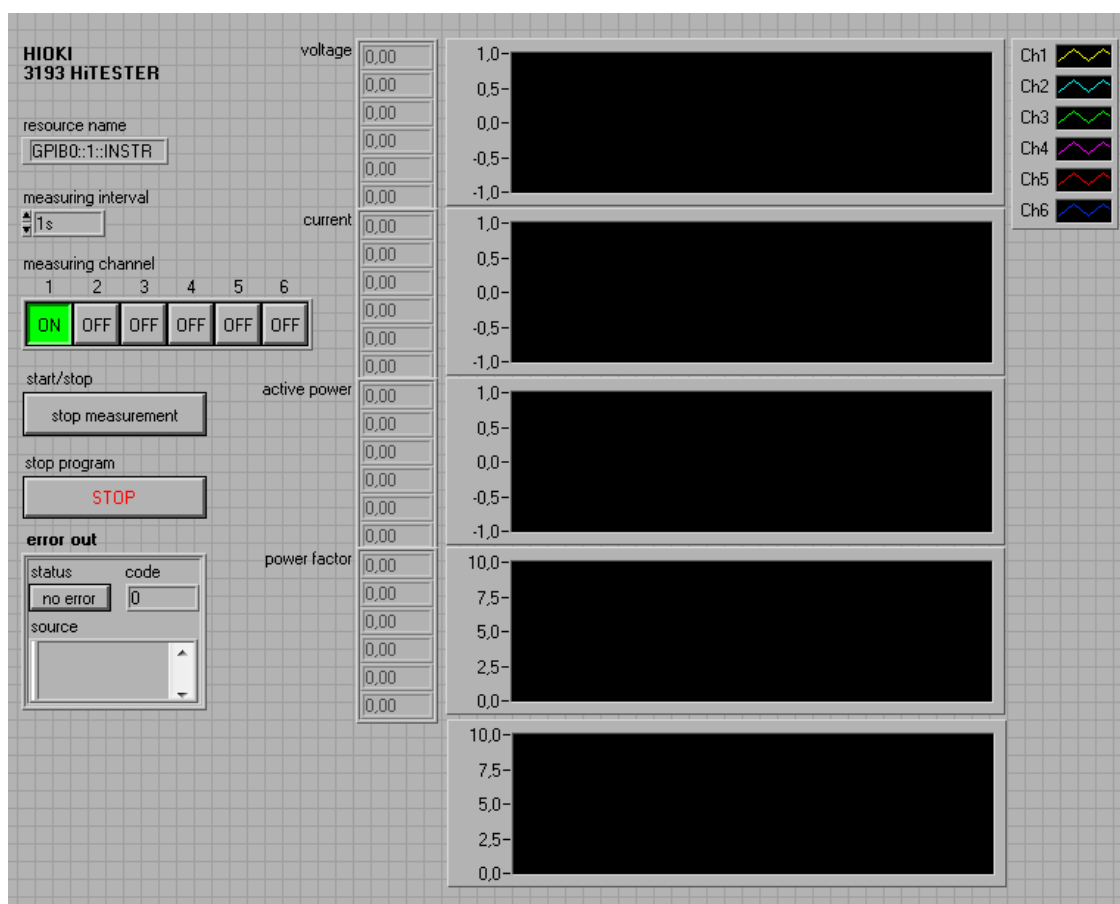
Kuvassa 15 näkyvät kaikki sovelluksen sisältämät pää- ja aliohjelmat havainnollistaen sovelluksen toiminnallista rakennetta:

- Alustus VI (initialize) on ensimmäinen käytettävä aliohjelma, joka luo yhteyden mittalaitteeseen ja asettaa mittalaitteen asetukset oletustilaan.
- Asetus VI:t (configuration) ovat kokoelma aliohjelmistoja, jotka asettavat mittalaitteen asetukset siten, että se pystyy suorittamaan haluttuja mitauksia.
- Toiminta VI:t (action/status) käynnistävät tai lopettavat testaus- ja mittaustoiminnot perustuen asetukset VI:n asettamaan tilaan.
- Data VI siirtää tietoa mittalaitteen ja ohjelman välillä.
- Apuohjelma VI:t (utility) suorittavat ns. ylimääräisiä toimintoja, jotka eivät ole oleellisia sovelluksen toiminnalle. Esimerkkejä apuohjelmista ovat taustavalot, näppäinäänet ja kello.
- Lopetus VI (close) lopettaa sovelluksen yhteyden mittalaitteen kanssa.
- Getting Started otsikon alapuolella ovat varsinaiset mittaussovellukset, jotka suorittavat kaikki aliohjelmat.



KUVA 15. VI-puu.

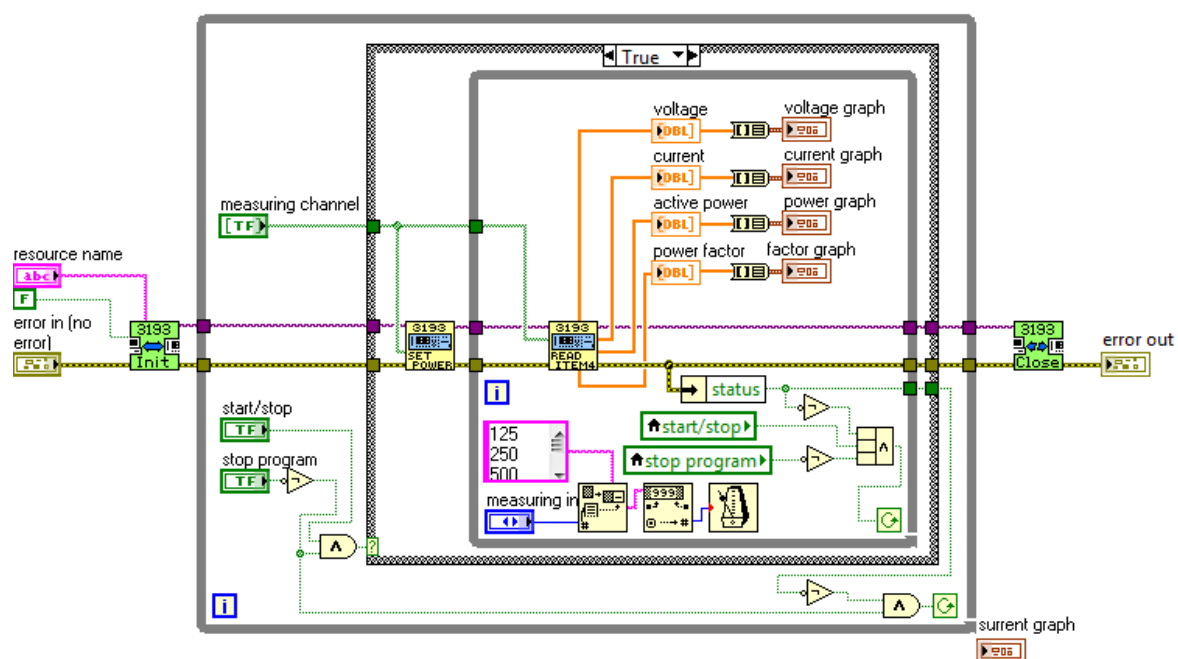
Varsinaisen mittaussovelluksen etupaneeli eli käyttöliittymä (kuva 16) on tehty mahdollisimman yksinkertaiseksi, mutta kuitenkin tarpeeksi monipuoliseksi. Resource name-kohdasta valitaan mittalaitteen GPIB-osoite, joka on oletuksena GPIB0::1::INSTR. Measuring interval määrää mittauksien väli-ajan (125 ms–5 s). Measuring channel -valikosta valitaan mitattava kanava. Lisäksi sovellus sisältää error out -laatikon, josta näkee mahdolliset virheilmoitukset sekä virhekoodin. Sovelluksen oikeassa reunassa ovat graafiset mittataulukot jännitteelle, virralle, pätöteholle ja tehokertoimelle, joista saa myös suoraan numeeriset mittau tulokset Excel-taulukkoon. Kevyemmän ja yksinkertaisemman sovelluksen aikaansaamiseksi yliaalloille ja välkynnälle on oma sovelluksensa (Liite 1).



KUVA 16. Mittaussovelluksen etupaneeli

Kuvassa 17 näkyy edellä olevaa mittaussovellusta vastaava lohkokkaavio. Se sisältää initialize, set power, read item ja close -aliohjelmat, jotka edelleen sisältävät toisia aliohjelmia VI-puun mukaisesti.





KUVA 17. Mittaussovelluksen lohkokaavio

## 7 KÄYTTÖÖNOTTO

LabVIEW-sovellus tehtiin mahdollisimman yksinkertaiseksi ja toimintoja on automatisoitu mahdollisimman paljon. Alkuasettelujen jälkeen Hioki-mittalaite ja LabVIEW-sovellus ovat aina toimintavalmiudessa ja heti käyttöönnettävissä. Mittalaitteen asetukset saadaan tehtyä sopiviksi automaattisesti LabVIEW-sovelluksen kautta PC:llä.

Sovelluksen testauksessa ilmeni ongelma LabVIEW'n mittausohjelmassa. Mittaus-VI sisältää lohko-kaavion lopussa while-silmukan, joka toistaa annettua merkkijonoa, kunnes annettu toistoehto ei enää evaluoidu todeksi. Sovelluksessa toistoehto kuitenkin pysyy jatkuvasti totena, jolloin merkkijono eli mittaustulokset eivät pääse pois while-silmukasta datataulukkoon. Tämän takia mittaustulokset eivät näy sovelluksen etupaneelin taulukoissa. Sovelluksen pohja on tehty vanhemmalla LabVIEW-versiolla kuin lisätyt muokkaukset ja testaukset, joten vanhojen aliohjelmien päivittäminen uusilla versioilla voisi auttaa ongelmaan.

## 8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli toteuttaa Hioki 3193 -mittalaitteelle ohjaus- ja mittausjärjestelmä jatkokehityksen pohjaksi. Työssä käsiteltiin aluksi yleistä teoriaa mittalaitteen ohjauksesta ja vertailtiin vaihtoehtoisia toteutusmalleja. Tarkoituksena oli saada aikaiseksi kokonaisuus, joka soveltuu opetuskäyttöön ja josta on helppo muokata uusia variaatioita eri tarkoituksiin.

Ennen varsinaista mittalaitteen ohjausta ja sovelluksen toteutusta tutkittiin Hioki-mittalaitteen yleisiä toimintoja ja soveltuvuutta erilaisiin mittaustarpeisiin. Tutkimuksista voitiin päätellä, että kyseinen mittalaite soveltuu monipuolisuutensa ansiosta moniin eri tarkoituksiin.

Mittausjärjestelmät ovat yleensä käytössä sähköön laatuun liittyvissä mittauksissa, joten mittaus- ja tutkimuskohteeksi valittiin ajankohtainen aihe, joka liittyy uusien lampputeknologioiden verkostovaihtuksiin. Mittaussovellus toteutettiin LabVIEW-ohjelmistolla, joka on yleisesti käytössä mittalaiteohjauksissa ja -testauksissa. Lisäksi se on jo entuudestaan Savonia-ammattikorkeakoululla opetuskäytössä. Sovelluksen avulla voidaan ohjata mittalaitetta ja kerätä mittaustulokset sekä graafisena että numeerisena sähköön laatuun liittyvistä suureista ja arvoista.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

ABB 2014. Sähkön laatu. [Viitattu 2015-02-20]. Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/9b156203603ca55dc1257823002f9625/\\$file/abb%20sahkon%20laadun%20mittaus%20low%20res.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/9b156203603ca55dc1257823002f9625/$file/abb%20sahkon%20laadun%20mittaus%20low%20res.pdf)

COMPUTER HOPE 2014a. USB. [Viitattu 2014-10-28]. Saatavissa:

<http://www.computerhope.com/jargon/u/usb.htm>

COMPUTER HOPE 2014b. Ethernet. [Viitattu 2014-10-28]. Saatavissa:

<http://www.computerhope.com/jargon/e/ethernet.htm>

COMPUTER HOPE 2014c. PCI. [Viitattu 2014-10-28]. Saatavissa:

<http://www.computerhope.com/jargon/p/pci.htm>

COMPUTER HOPE 2014d. PCI Express. [Viitattu 2014-10-28]. Saatavissa:

<http://www.computerhope.com/jargon/p/pciexpre.htm>

HIOKI E.E. CORPORATION 2014. Instruction Manual, 3193 POWER HiTESTER.

LAMPPUTIETO 2014. Lamppujen loisteho. [Viitattu 2015-03-05]. Saatavissa:

<http://www.lampputieto.fi/lamput/ukk>

NATIONAL INSTRUMENTS 2014a. Instrument control. [Viitattu 2014-12-02]. Saatavissa:

<http://www.ni.com/instrument-control>

NATIONAL INSTRUMENTS 2014b. Instrument Bus Performance. [Viitattu 2015-01-15].

Saatavissa:

<http://www.ni.com/white-paper/3509/en>

NATIONAL INSTRUMENTS 2014 c. LabVIEW System. [Viitattu 2014-11-19]. Saatavissa:

<http://www.ni.com/labview>

PCMAG 2014. Buses. [Viitattu 2015-02-20]. Saatavissa:

<http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/39054/bus>

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO 2013. Energiansäästölamppujen verkostovaikutukset ja elektronisten kuormien ja mittariluentajärjestelmien välinen yhteensopivuus. [loppuraportti]. [Viitattu 2015-02-08]. Saatavissa:

[http://energia.fi/sites/default/files/energiansaastolamppujen\\_verkostovaikutukset\\_loppuraportti\\_2013-05-22.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/energiansaastolamppujen_verkostovaikutukset_loppuraportti_2013-05-22.pdf)

## LIITE 1. LABVIEW-SOVELLUKSEN ETUPANEELI YLIAALTOMITTAUKSILLE

**HIOKI 3193 POWER HiTESTER (9605)**

resource name: GPIB0:1::INSTR

measuring interval: 1 s

Harmonic/Flicker: Harmonic

input Ch(Ch1,Ch2,Ch3): 1 2 3 4 5 6

measuring Ch: 1 2 3 4 5 6

start/stop: stop measurement

stop program: STOP

voltage: 0,00

Harmonic(surrent): 0,00

Flicker (voltage): 0,00

Harmonic(power): 0,00

Flicker (ΔU/U): 0,00

Flicker(S(t)): 0,00

Ch1 Ch2 Ch3 Ch4 Ch5 Ch6

Harmonic: Sets channels for measuring rms value of voltage, rms value of current, power.

Flicker: Sets channels for measuring rms value of voltage, AGG output voltage, ΔU/U, S(t).

error out: status code no error 0 source

## LIITE 2. LABVIEW-SOVELLUKSEN LOHKOKAAVIO YLIAALTOMITTAUKSILLE

